P2WW-1700-01Z9

システム オン モジュール PD2200 シリーズ

デザインガイド～熱設計編 3 ～

ごあいさつ

本書は、システム オン モジュール PD2200 シリーズを使用してターゲット装置を設計する際の熱設計上の留意事項について記述しています。
本書をよくお読みになり、システム オン モジュールをご活用されるようお願いいたします。

2004 年 2 月

(1) 本書に記載の製品および技術で、「外国為替及び外国貿易法」に該当するものを輸出する時、または国外に持ち出す時は、日本政府の許可が必要です。
(2) 本書に記載されている製品は、事務機器、通信機器、計測機器、家電製品などの一般電子機器に使用されることを意図しております。
特別な品質、信頼性が要求され、その故障や誤動作が直接人命を脅かしたり、人体に危害を及ぼす恐れのある用途（軍事用、核施設用、航空・宇宙用、交通機器、燃焼機器、生命維持装置、安全装置など）にご使用をお考えのお客様、および当社が意図した一般電子機器以外にご使用をお考えのお客様は、事前に弊社営業窓口までご相談願います。

●本書の記載範囲

本書が対象としているシステム オン モジュールは、以下のとおりです。

- PD-222AV0D1B　（以降、PD-222AV と表記します）
- PD-222AQ0D1B　（以降、PD-222AQ と表記します）
- PD-222AP0D1B　（以降、PD-222AP と表記します）
- PD-222AP0D1C　（以降、PD-222AP と表記します）

その他のシステム オン モジュールについては、内容が異なりますので、ご使用の型名に応じた『デザインガイド』を参照してください。

●ご使用にあたって

(1) 本書の内容は、改善のため事前連絡なしに変更することがあります。

(2) 本書のご使用にあたっては、以下のマニュアルを併せてお読みください。

- ハードウェア解説書 3
- BIOS 説明書 3

また、必要に応じて他のデザインガイドも参照してください。

(3) PC/AT 互換機のアーキテクチャについては厳格な規格は存在しません。また、CPU の高速化に合わせて、I/O デバイス等も高速化されています。これらにより、特に詳細部分について制御側と非制御側の規約に対する相違から、動作不具合が生じる場合があります。
本書は、システム オン モジュールの仕様を基準としているため、内容の一部に上記の相違を含んでいる場合があります。

(4) 本書に記載している回路例は、すべての条件で動作を保証するものではありません。本書の回路例を採用する場合は、回路周辺等、条件を考慮したうえで設計されるようお願いいたします。また、評価においても十分な検証をお願いいたします。

(5) 本書の回路例、プログラム、使用方法等はあくまでも参考情報です。これらに起因する第三者の権利侵害（工業所有権を含む）、または損害の発生に対して、弊社はいかなる保証を負うものではありません。

(6) 本書は随時更新されます。最新の情報は、当社のサイト（ http://www.pfu.fujitsu.com/prodes/product/cardpc/cardpc.html ）から参照できます。

●マニュアル体系

システム オン モジュール PD2200 シリーズには以下のマニュアルが用意されています。必要に応じてお読みください。

『ハードウェア解説書 3』

ハードウェア・インタフェースに関する仕様について記載しています。システム オン モジュール PD2200 シリーズをターゲット機器に組み込んで、お客様の用途に合った製品を開発する前に必ずお読みください。

『BIOS 説明書 3』

ハードウェア環境を設定するためのプログラムである BIOS SETUP の仕様、および BIOS をメイクアップする場合の手順や操作方法について説明しています。システム オン モジュール PD2200 シリーズをお使いになる際に、または、ご購入時にあらかじめ設定されている BIOS の環境を設定する場合にお読みください。

『デザインガイド～ハード設計・I/O 増設編 3 ～』

回路例、I/O 増設時に必要な技術情報などについて記載しています。システム オン モジュール PD2200 シリーズを使用してターゲット装置を設計する前に必ずお読みください。

『デザインガイド～熱設計編 3 ～』（本書）

効率よく熱設計や温度評価をしていただくために必要な情報について記載しています。システム オン モジュール PD2200 シリーズをターゲット機器に組み込んで、お客様の用途に合った製品を開発する前に必ずお読みください。

『デザインガイド～図面編 3 ～』

システム オン モジュール PD2200 シリーズ専用の評価アダプタボード G2 の回路図、実装図および部品表について記載しています。ご使用の型名に応じた『ハードウェア解説書』とあわせてお読みください。

●本書の構成について

第 1 章　システム オン モジュールの放熱構造

システム オン モジュールの放熱構造について説明しています。

第 2 章　システム オン モジュールの温度管理方法

システム オン モジュールを安心して使っていただくための適切な温度管理の方法について説明しています。

第 3 章　システム オン モジュールの熱特性

システム オン モジュールの熱特性について説明しています。

第 4 章　熱設計手法

システム オン モジュールの熱設計手法について説明しています。

●本書の表記について

本書で使用している記号とその意味を以下に示します。

記号	意味
備考	操作に関する補足事項を記述しています。 必要に応じてお読みください。
注意	お使いになるときに注意していただきたいことや、してはいけないことを記述しています。 必ずお読みください。
参照	関連する情報が記載されているマニュアルを示したり、参照先を示しています。 必要に応じてお読みください。

目次

図目次

表目次

第 1 章　システム オン モジュールの放熱構造

システム オン モジュール PD2200 シリーズは、本体のサイズが 127mm × 76.2mm （クレジットカードサイズの 2 倍程度）あり、その空間の中で、熱伝導、対流、輻射を効果的に組み合わせた放熱対策を施し、ノートブックパソコンと同様、様々な工夫の上に実現しています。

（1）　PD-222AV/PD-222AQ/PD-222AP

PD-222AV0D1B は低電圧版 Intel® 製モバイル Pentium® Ⅲ プロセッサ 933MHz を使用しており、システムオンモジュール全体の熱量は PD-2229U0D1 の 1.1 倍の発熱密度と CPU がクロックアップしても消費電力を低く抑えています。
PD-222AQ0D1B は、低電圧版 Intel® 製モバイル Celeron™ プロセッサ 650MHz を使用しており、システムオンモジュール全体の熱量は PD-2229T0D1 の 0.9 倍の発熱密度であり、消費電力を低く抑えています。
また、PD-222AP0D1B は、低電圧版 Intel® 製モバイル Celeron™ プロセッサ 400MHz を使用しており、システムオンモジュール全体の熱量は PD-2229P0D1 の 0.7 倍の発熱密度であり、低消費電力に抑えています。

PD-222AV0D1B / PD-222AQ0D1B / PD-222AP0D1B は、PD-2229U / PD-2229T / PD-2229P と同様にファンモジュールを標準的に装着しており、同環境で使用できます。

PD-222AP0D1C は、PD-222AP0D1B と同様に低電圧版 Intel® 製モバイル Celeron プロセッサ 400MHz を使用しておりますが、ファンモジュー ルを使用しないモデルとして提供しております。お客様が適切な熱設計を行うことにより、ファンレスのシステムを実現することができます。

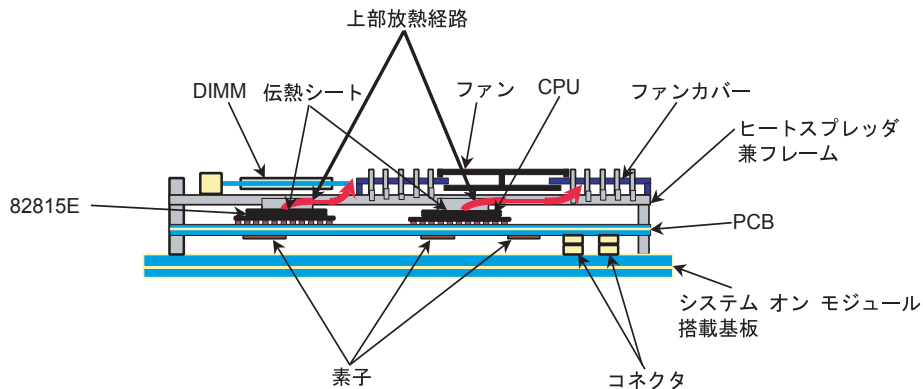



図 1 構造断面図（PD-222AV0D1B / PD-222AQ0D1B / PD-222AP0D1B）

放熱構造の主な特徴として以下の点が上げられます。

- ファンモジュールを含めて高さは 18mm に抑えられており、PD-2229V0D1 / PD-2229T0D1 / PD-2229P0D1 シリーズと同等の薄型化を実現しています。
- ヒートシンクとフレームを一体化した構造を採用し、ヒートシンク－フレーム間の接触熱抵抗はありません。
- ファンモジュールの構造は、ファンの回転方向を考慮して風の流れを制御し、冷却効果をあげています。
- フレーム上面に設けたピンフィンをファンモジュール部から突出させ、放熱効果のアップを図っています。
- 熱的に厳しい素子を基板上面側に集中配置し、基板上部側へ約 9 割、下面側に約 1 割の比率で上部側への放熱経路の割合を増やしています。特に、熱的に厳しい CPU、82815E は、伝熱シートを介在してフレームに伝熱／拡散させ、ファンの風によって外部に放熱しています。
- 伝熱シートは、柔らかく、かつ、熱伝導性の高いものを採用し、接触熱抵抗の低減を図っています。この伝熱シートは半導体素子へのストレスを最小限に抑えて、基板の反り、部品高さおよびフレーム寸法のばらつきなどを吸収しています。

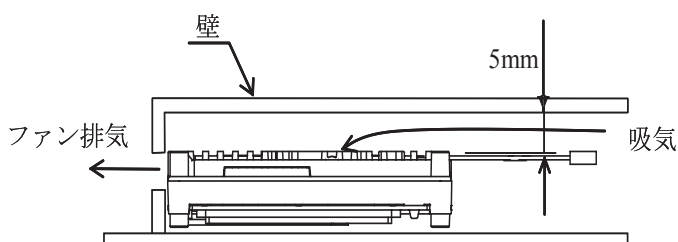
1.1 設計上の留意事項

システム オン モジュールは、お客様の装置の構造や使用条件によって放熱に差が生じ、温度が変化します。したがって、以下に示す設計上の留意事項を参考に、熱設計および放熱対策を行ってください。

（1） PD-222AV0D1B / PD-222AQ0D1B / PD-222AP0D1B

PD-222AV0D1B、PD-222VQ0D1B および PD-222AP0D1B は、前述のとおり熱的に厳しい素子が搭載されているため、ファンモジュールを標準装備しています。「第 3 章システム オン モジュールの熱特性」に記載している当社温度測定方法での測定は、システム オン モジュール上部に空気の流れを妨げるような壁がないフリーな空間で行っています。

しかし、実際の筐体内に搭載する場合は、ファンモジュール近傍に板金などの壁がくることもあり、吸気部分の圧力損失が増大して風量ダウンを起こします。また、ファンモジュール周囲空間が狭くなることでファンモジュールからの排気が吸気部に回り込みやすくなります。

図 2 の方法にて温度測定した結果では、素子の温度が 3 ～ 6°C 上昇しますので留意してください。

ΔT 温度　　(単位：℃)

システム オン モジュール	測定箇所	壁無し	壁有り	温度差
PD-222AV0D1B	CPU	48.5	54.3	+5.8
	82815E	32.3	35.8	+3.5
	CPLD	29.8	33.9	+4.1
	フレーム表面	28.0	32.0	+4.0
PD-222AQ0D1B	CPU	31.1	35.6	+4.5
	82815E	25.5	28.8	+3.3
	CPLD	23.6	27.3	+3.7
	フレーム表面	21.8	25.5	+3.7
PD-222AP0D1B	CPU	19.5	23.4	+3.9
	82815E	19.5	22.5	+3.0
	CPLD	20.6	23.8	+3.2
	フレーム表面	15.9	19.3	+3.4

図 2 上部に壁がある場合の温度の影響

なお、図 3 のように壁を配置すると、ファンから排気された温かい空気を上部ファン吸気口から吸い込み（図 3 の〇で囲んだ部分）、素子の温度上昇につながりますので留意してください。

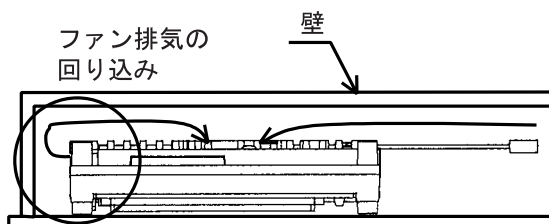



図 3 風の回り込みが生じるケース（悪い例）

参考として配置の良い例を図 4 に示します。

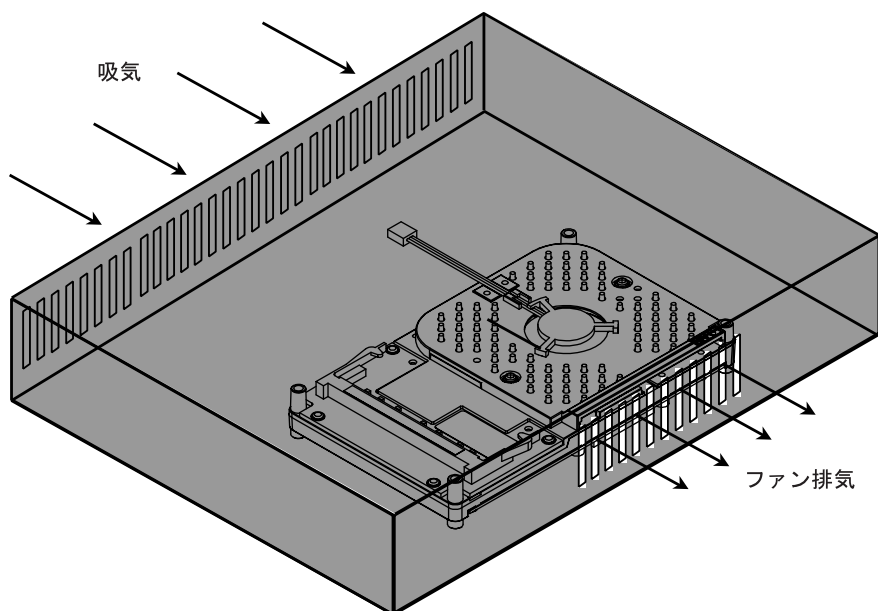



図 4 風の回り込みが少ない模式図（良い例）

1 PD2200 シリーズは、前述のとおりシステム オン モジュールを実装する基板に対して約 1 割の比率で伝熱しています。
そのため、基板サイズが約 2 倍以下の面積では放熱効果が落ち、温度上昇する要因となりますので、ご留意ください。

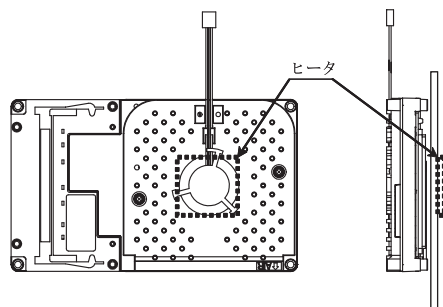
2 システム オン モジュールを搭載する基板上で、システム オン モジュールと対向する位置に発熱部品を実装した場合、システム オン モジュールの素子温度は通常状態よりも上昇しますので留意してください。

図 5 に、CPU が搭載されている裏側の位置にスポット的な発熱があった場合として、銅ブロックヒータを使った測定例を示します。

PD-222AV0D1B/PD-222AQ0D1B/PD-222AP0D1B では、銅ブロックヒータを 3W 発熱させた場合、基板表面素子で 2 ～ 3 ℃アップ、基板裏面素子で 4 ～ 5 ℃アップし、基板裏面素子の方が温度の影響を受けやすく、一部の素子が動作温度範囲を超えます。

また、「1.1 設計上の留意事項」の「(1) PD-222AV0D1B/PD-222AQ0D1B/PD-222AP0D1B 」で説明したとおりシステム オン モジュールの筐体内実装を考慮すると、素子の温度がさらに 3 ～ 6° C 上昇することになります。

このように、システム オン モジュールを搭載する基板裏側のエリアは、システムオンモジュールに大きな影響を与えるため、下記のようなケースの搭載は行わないでください。

- スポット的に 1.0W 以上発熱する素子や 3 端子レギュレータなど
- 対向するエリア内でトータル 1.0W 以上となる素子の配置など

使用部材

マザーボード	サイズ	380mm × 310mm
	ヒータ	サイズ：30mm角 × 5㎜厚 消費電力：1W、2W、3W 仕様： 銅製ブロックにカートリッジヒータを埋め込み

測定方法： カードプロセッサを搭載する基板の上記実装位置に銅製ヒータをネジで固定し、ヒータの消費電力を1W、2W、3Wと与えて温度を測定。

ΔT温度　（単位:℃）

システムオンモジュール	測定箇所	ヒータ消費電力	0W	1W	2W	3W
PD-222AV0D1B	表面	CPU	48.5	48.6	49.7	51.0
		82815E	32.3	32.7	33.6	34.7
		CPLD	29.8	30.3	31.3	32.2
		フレーム表面	28.0	28.4	29.2	30.1
	裏面	PLL	42.8	43.8	45.2	46.6
PD-222AQ0D1B	表面	CPU	31.1	32.4	33.3	33.9
		82815E	25.5	26.6	27.5	28.3
		CPLD	23.6	24.7	25.6	26.3
		フレーム表面	21.8	22.8	23.6	24.2
	裏面	PLL	36.9	38.6	40.1	41.6
PD-222AP0D1B	表面	CPU	19.5	20.0	20.8	21.3
		82815E	19.5	20.1	20.9	21.4
		CPLD	20.6	21.2	22.0	22.5
		フレーム表面	15.9	16.4	17.1	17.5
	裏面	PLL	29.3	30.6	31.9	32.9
PD-222AP0D1C	表面	CPU	44.8	47.5	49.3	51.1
		82815E	42.0	44.3	46.1	47.8
		CPLD	42.9	45.4	47.2	49.0
		フレーム表面	39.1	41.4	43.1	44.8
	裏面	PLL	48.7	51.5	53.6	55.7

図 5 ヒータ実装位置

3 システム オン モジュールの適用高度範囲は、0m から約 400m（1,200ft）までです。気圧の低下に伴う空気物性値（特に比重量）の変化によって放熱性能が変わるため、これ以上の高度で使用する場合は高度補正を行ってください。

- 高度 Hm における空気温度上昇（°C）
  ΔTaH = ΔTa × A
- 高度 Hm におけるジャンクション温度（°C）
  TjmaxH = [Rjf + Rfa × B] × Pd + ΔTa × A + TainH

ΔTa:　海抜 0m における空気温度上昇（°C）
ΔTaH:　高度 Hm における空気温度上昇（°C）
TjmaxH:　高度 Hm におけるジャンクション温度（°C）
Rjf :　ジャンクションー FHS ベース間の熱抵抗（°C/W）
Rfa:　FHS ベースー周囲温度間の熱抵抗（°C/W）
Pd :　システム オン モジュールの消費電力（W）
TainH :　高度 Hm における環境温度（°C）

各高度における A、B の値は、以下の表を参考にしてください。

係数	800m	1,200m	1,600m	2,000m	2,400m	2,800m
A	1.1	1.16	1.21	1.28	1.34	1.41
B	1.05	1.08	1.1	1.13	1.14	1.19

米国で 1,000m を越える都市の例をあげると、デンバー（1,625m）やソルトレイクシティ（1,288m）などがあります。デンバーでは、PD-222AV、PD-222AQ および PD-222AP の温度条件を約 2 ～ 4°C 下げる必要があります。

4 システム オン モジュールに取り付けられているフレームは、取り外しおよび再組立を絶対に行わないでください。

第 2 章 システム オン モジュールの温度管理方法

システム オン モジュールを安心して使っていただくには、適切な温度管理が必要となります。
ここでは、お客様で管理していただく事項や正しく管理していただくための情報について記述します。

2.1 管理温度／測定ポイント

フレーム表面温度の測定ポイントは、CPU、82815E、ICH2 との間のフレーム温度が一番高くなる部分の近傍にあり、また、特に温度の厳しい CPU の温度変化を捉えやすい箇所です。
図 6 に、システム オン モジュールのフレーム表面管理（許容）温度と測定ポイントを示します。

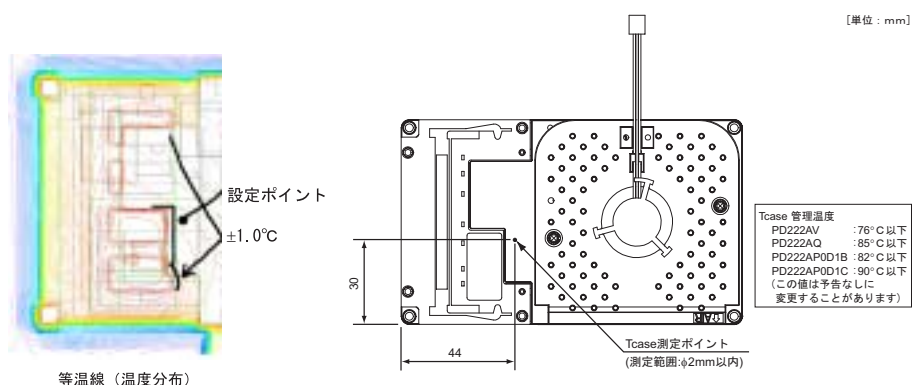



図 6 管理温度と測定ポイント

図 7 に、熱電対の取り付け手順の一例を示します。

なお、熱電対の被覆部は 1mm 程度あり、DIMM を取り付けた際に、熱電対を DIMM とフレームの間に挟み込んでしまうことがあるので、熱電対被覆部の固定位置は挟み込みがない箇所で行ってください。

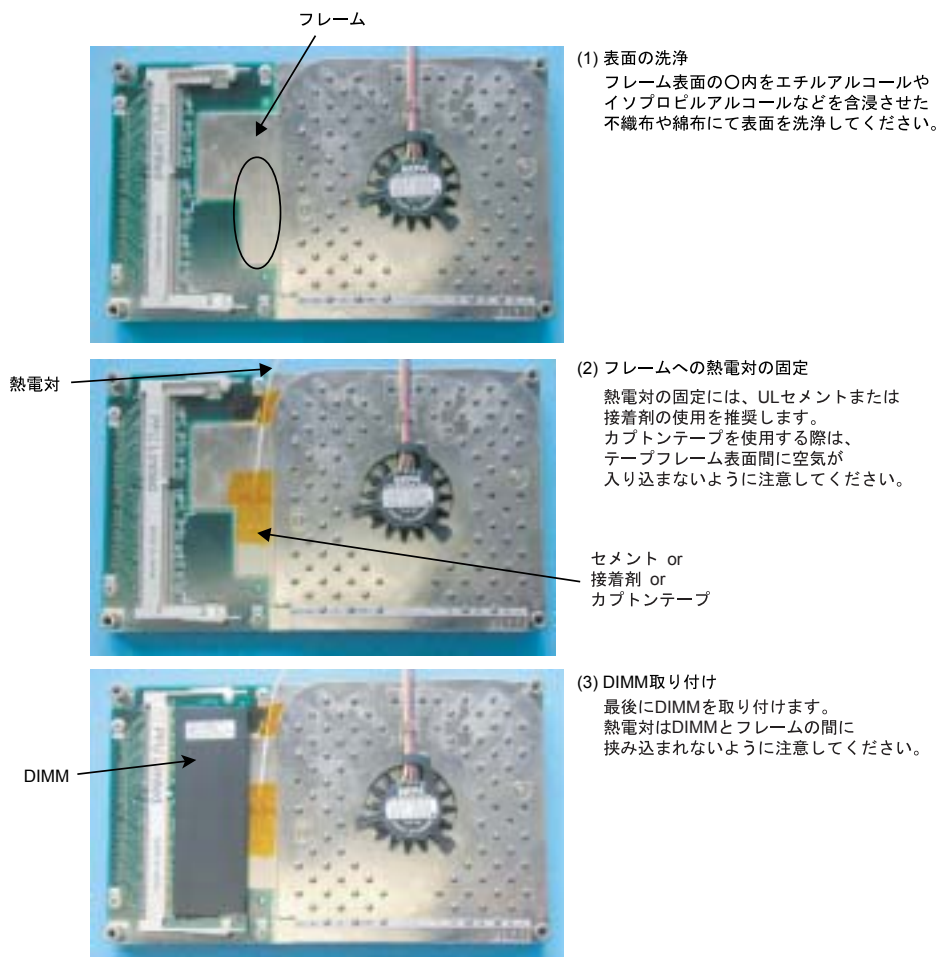



図 7 熱電対取り付け手順（PD-222AV0D1/PD-222AQ0D1/PD-222AP0D1）

管理温度を超えて使用した場合は、すぐに動作が損なわれることはありませんが、温度保護機能が働くことがあります。これは、CPU の動作を間欠にすることで CPU の消費電力を低下させ、発熱量の低下により温度上昇を抑制するものです。この状態は、リセット（ハードウェアリセット、ソフトウェアリセット）または、電源切断を行わないと元の状態に復帰しません。その際、電源再投入を行う前に、温度上昇となった原因を確認し、その原因となった状態を排除した後に電源投入を行ってください。

温度保護モードについては、『ハードウェア解説書 3』の「5.4 温度保護モード」「5.5 状態遷移図」を参照してください。

2.2 熱電対

以下に、当社が推奨する熱電対および固定方法について示します。

（1） 熱電対の原理

熱電対は、熱電気現象を原理とする温度センサです。

図 8 に示すように、2 種類の均質の金属線を組み合わせて閉回路を作り、2 つの接点をそれぞれ温度 Th、Tc（Th > Tc）に保つと、両接点間に電位差が生じます（これをゼーベック効果といいます)。

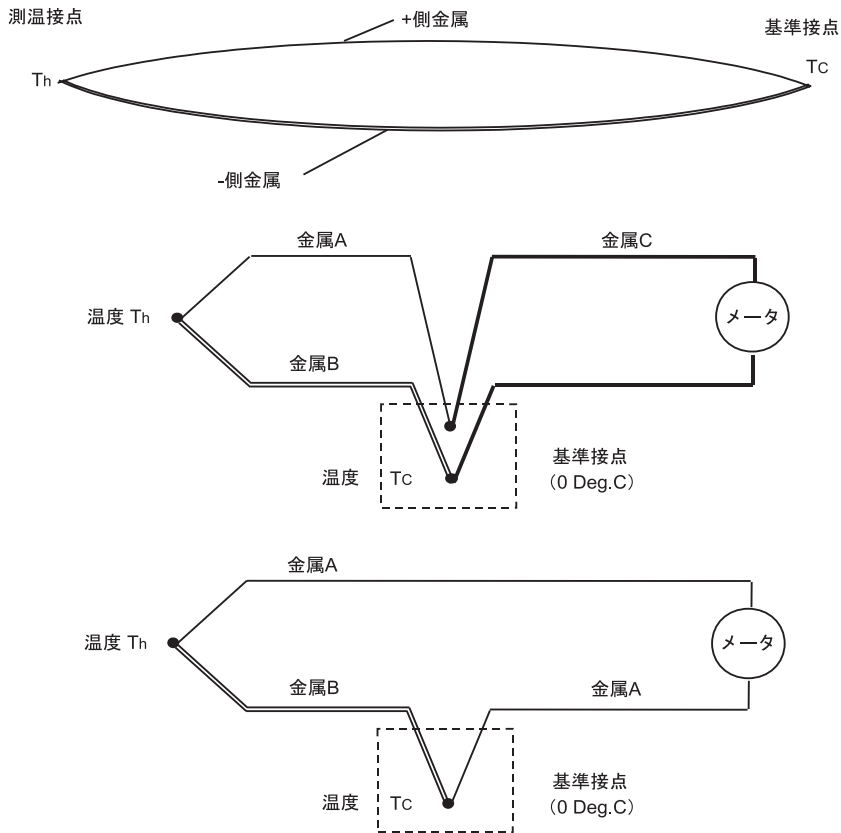



図 8 熱電対の動作原理

均質な異種金属を組み合わせて回路を作れば、ゼーベック効果によって発生する熱起電力は、接点の温度だけによって決まります。

通常の温度計では、この原理を利用して、Tc の温度を一定に保って、Th との温度差によって生じる熱起電力を温度に換算しています。

- 通常は、スポット溶接で接点を形成します。
  参考として、図 9 に溶接部の拡大写真を、図 10 に接点部の良い例、悪い例を掲載します。

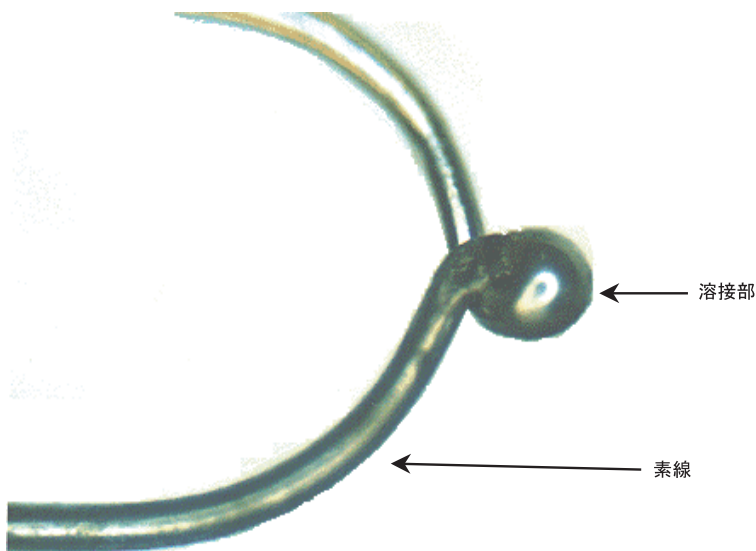



図 9 溶接部拡大写真

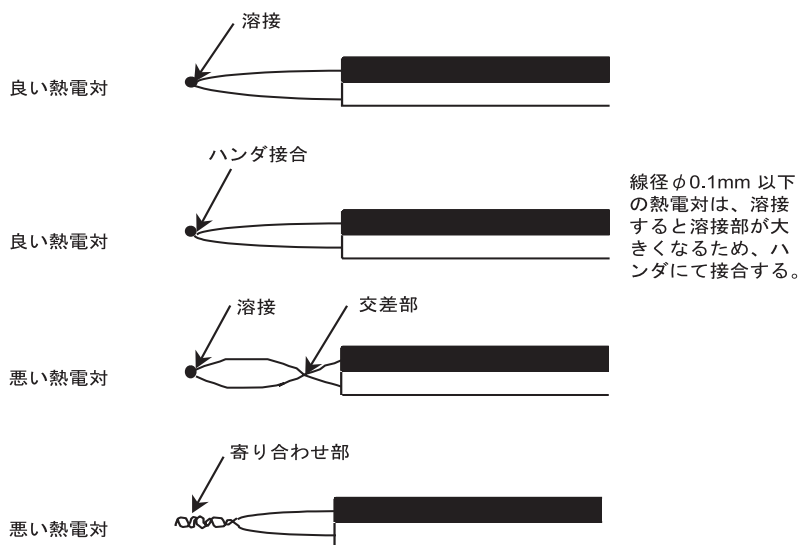



図 10 接点部の良い例、悪い例

自作での半田付けや撚り合わせただけのものは、誤差が生じやすく信頼できないため、お薦めできません。

- 熱電対の種類は、貴金属熱電対と卑金属熱電対の 2 種に大別されます。
  当社で使用している熱電対は T タイプと呼ばれるもので、銅（Cu）とコンスタンタン（Ni と Cu の合金）の金属線で作られ、卑金属熱電対に属します。
  そのほか一般的には K タイプ、J タイプが使用されます。

K タイプはクロメル（Ni と Cr の合金）とアルメル（Ni と Al の合金）で、J タイプは鉄 - コンスタンタンで作られています。

- 熱電対の素線の太さは測定精度に関係します。
  素線が太いと熱伝導誤差や溶接部接点が大きくなり、測温ポイントが決めにくいなど測定者による誤差が大きくなります。なお、熱容量が大きく、温度分布にバラツキの小さいところを測定する場合、問題はありません。
  表 1 に、45mm × 50mm × 5mm の銅製ヒータでの測定結果の例を示します。

表 1 素線径とヒータ表面温度

素線径	0.05mm	0.25mm	0.4mm
ヒータ表面温度	106°C	103°C（-3°C）	95 °C（-11°C）

図 11 に、測定方法を示します。

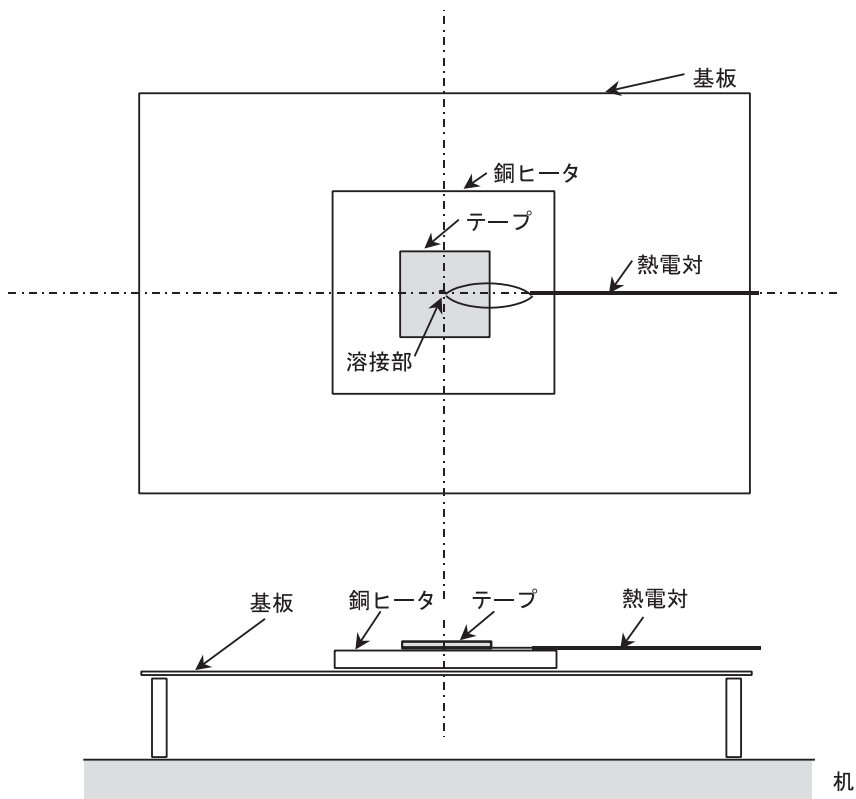



図 11 測定方法

図 12 に、熱電対の先端部の写真を示します。

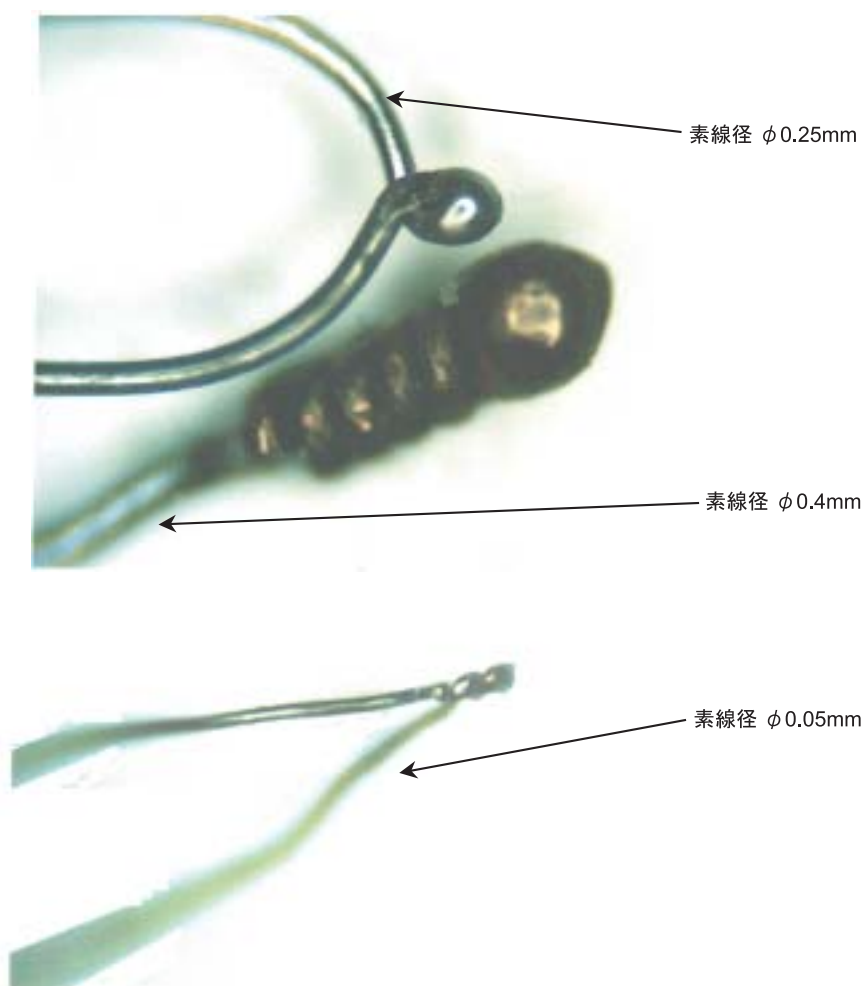



図 12 熱電対先端部の写真

（2） 温度測定誤差の発生原因

温度測定誤差には、大別すると熱的誤差、電気的誤差および人的誤差があります。

熱伝導誤差（熱的誤差）

熱伝導誤差は、熱電対の長さ方向に熱流が発生して生じる誤差です。

温度差の存在する部分では、熱は高い方から低い方に流れ、温度差が大きいほど熱流も誤差も大きくなります。

図 13 および図 14 に、熱伝導誤差が改善される取り付け方について示します。

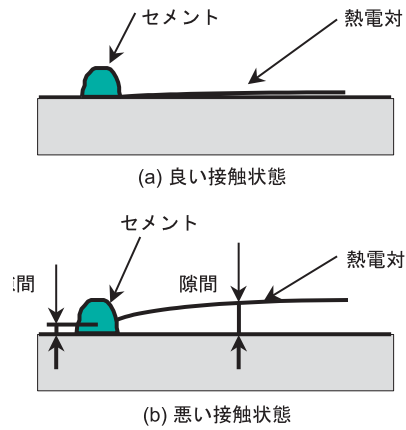



図 13 熱電対の接触状態

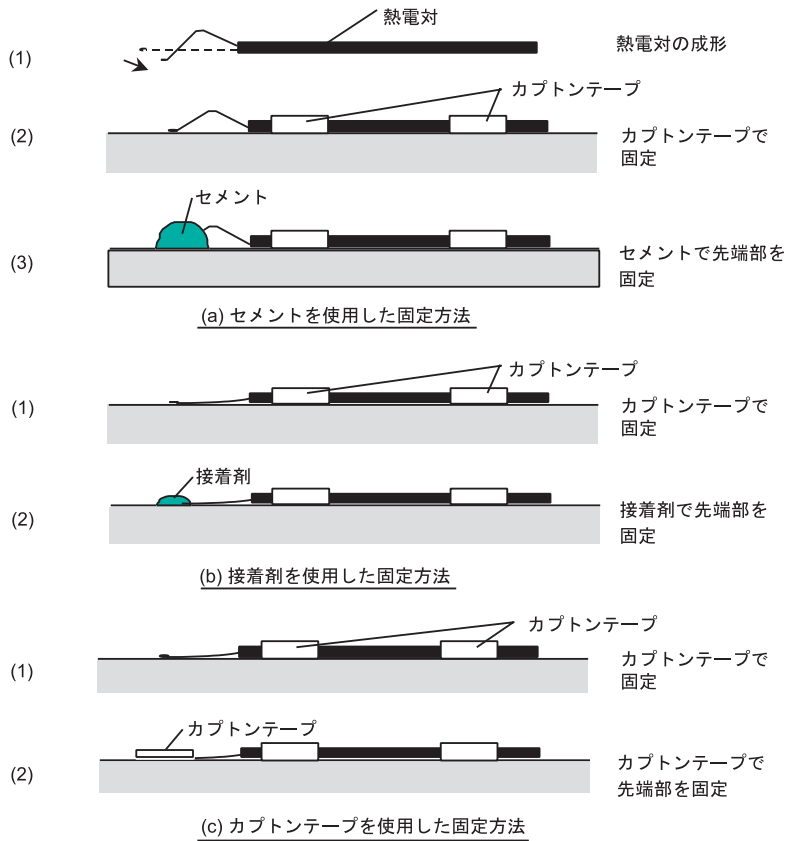



図 14 熱電対の固定手順

パッケージサイズが小さい、または熱伝導率の低い材質で構成されているものは温度差が多く、誤差が生じやすいため注意が必要です。

時間遅れ誤差（熱的誤差）

熱電対では、測定対象からの熱の移動で測温度部が熱平衡に達するため、応答に時間遅れ（温度追従性）が生じます。この遅れが大きいと測温誤差となり、温度変化を測定する場合には追従性が問題となります。

熱電対の線径が細いほど追従性があり遅れが小さくなります。

熱電対の不均質誤差（電気的誤差）

熱電対の素線が不均質な場合は、温度勾配のかかり方で局部的に熱起電力が発生し測温誤差となります（これを不均質誤差といいます）。

熱電対の素線が新しくよく管理されていれば均質であるといえますが、曲げたり伸ばしたりすることを繰り返し、素線上に加工歪みを加えたものでは熱電気的な均質性が失われることがあります。また長時間加熱された素線や長時間使用した素線も不均質（劣化する）となるため、熱電対を含めた定期的な校正が必要です。

基準接点における誤差（電気的誤差）

熱電対の基準接点側は正しく 0°C に保持して測温するのが基本ですが、実際には種々の基準接点装置が使われているため注意が必要です。計測器に内蔵の基準接点補償を用いる場合には、使用する計測器の取扱説明書でその精度（確度）を確かめてから使用してください。

また、計測器の熱電対入力端子盤は、温度測定時の誤差要因となる温度ムラを抑えているため、端子盤に風や手があたったり（触れたり）、垂直で使用したりすると誤差が生じます。

熱電対の人的誤差（人的誤差）

温度計の設定ミス、誤った取り扱い、熱電対の選定ミスおよび誤った取り付けなどが該当します。

（3） 熱電対の仕様

システム オン モジュールの温度を測定する際に用いる熱電対の仕様として、以下のものを推奨します。

線径　：φ0.1mm または φ0.127mm（AWG36）
タイプ：T タイプまたは K タイプ

精度の点では線径が細い方が良いのですが、上記の仕様よりも細いと、簡単に切れて実用的ではないため特殊なケースを除いてお薦めしません。

備考

- 入手が困難な場合は、「UL 認定用の熱電対（J 型、素線径 0.25mm）」を使用しても構いませんが、温度は 1~2°C 低く測定されます。また、使用温度範囲は、+20 ~ +90°C と狭いので使用に当たっては注意が必要です。
- 国際規格としては、IEC584-** があります。JIS では 1602（熱電対）などが対応します。

（4） 熱電対の固定方法

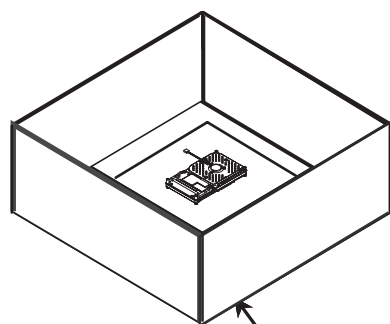
一般的な留意事項を以下にまとめます。

- 瞬間接着剤、UL セメント、カプトンテープなどで固定する際は、測定表面の油脂およびゴミを完全に除去してください。熱電対の剥がれを防止できます。
- 熱電対の測温接点と測定対象の表面は、熱的接触が良好で熱の授受が十分行われる必要があります。通常、熱電対の先端は球状となっているため、接触は点接触となり十分な熱の授受が行われません。したがって瞬間接着剤、UL セメントなどを用いて接触状態の改善を図ってください（図 13 参照）。
  ただし、瞬間接着剤および UL セメントなどは、剥がす場合に問題があるため、耐熱性と粘着性に優れているカプトンテープ（ポリイミドフィルムにシリコン系粘着剤を塗布したもの、色は半透明の琥珀色）を使用しても構いません。
- 熱電対の素線に沿って、熱伝導誤差を小さくすることが必要です。
  表面に素線をはわせると熱伝導誤差を小さくすることができます（図 14 参照）。
- 熱電対は 2 本の金属線が最初に交差・接触したところが測温ポイントとなりますので、溶接部以外が交差していないことを確認した上で固定してください。
- 熱電対をはわせる際、測温ポイントよりも温度が高いと思われるところに熱電対を固定しないでください。

第 3 章　システム オン モジュールの熱特性

この章では、システム オン モジュールの熱特性について説明します。

3.1　PD-222AV0D1B

図 15 に周囲からの風を遮断した状態における各素子の表面温度およびフレーム表面温度を示します。

ΔT温度　　　　単位 :℃)

測定箇所	PD-222AV0D1B 933MHz
CPU	48.5
82815E	32.3
CPLD	29.8
ﾌﾚｰﾑ表面	28.0

図 15　PD-222AV0D1B の熱特性

図 16 の A の方向から空気を流した状態におけるフレーム表面温度および各素子の表面温度を次に示します。

Δ　温度　　単位：℃）

Velocity	0.5m/s	1.0m/s	2.0m/s	3.0m/s
CPU	41.4	37.1	34.5	31.2
82815E	26.9	23.5	20.5	18.3
CPLD	25.9	22.2	20.8	19.3
ﾌﾚｰﾑ表面	23.0	18.4	13.8	10.3

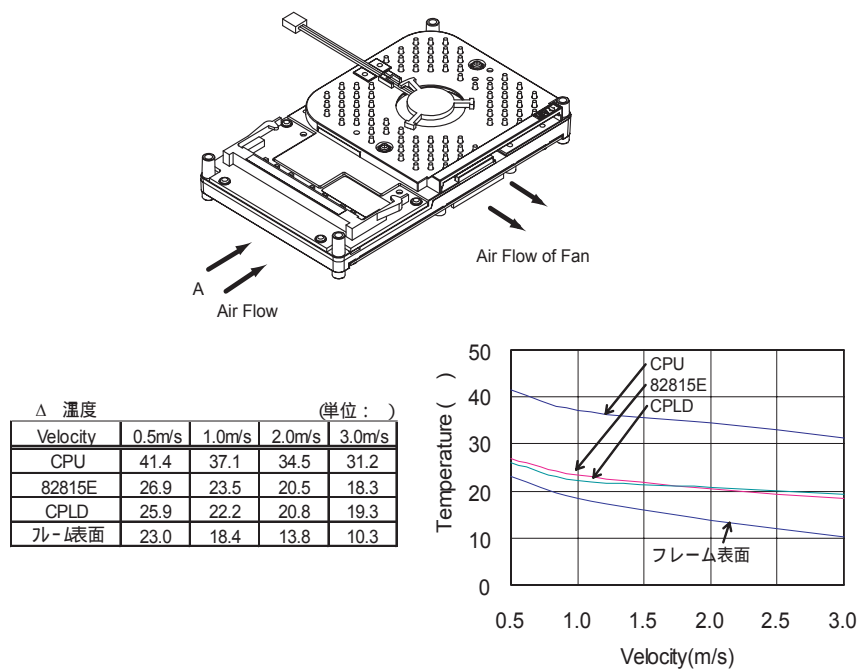
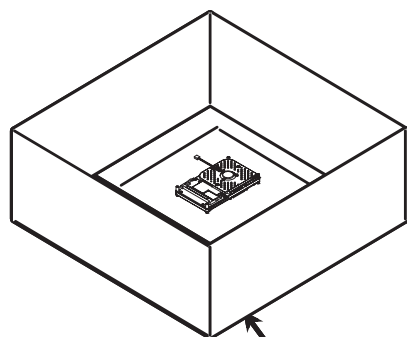



図 16 温度－風速（PD-222AV0D1B）

PD-222AV0D1B では、ファンモジュール以外の特別な対策を行わなくても 50° C の環境温度で動作温度を満足していることが分かります。

3.2 PD-222AQ0D1B

図 17 に周囲からの風を遮断した状態における各素子の表面温度およびフレーム表面温度を示します。

ΔT温度　　　　　単位 :℃)

測定箇所	PD-222AQ0D1B 650MHz
CPU	31.1
82815E	25.5
CPLD	23.6
フレーム表面	21.8

図 17　PD-222AQ0D1B の熱特性

図 18 の A の方向から空気を流した状態におけるフレーム表面温度および各素子の表面温度を次に示します。

ΔT温度　　　　　　　　　　　　単位 :℃）

Velocity	0.5m/s	1.0m/s	2.0m/s	3.0m/s
CPU	28.7	27.5	24.7	22.5
82815E	22.9	21.0	17.6	15.1
CPLD	22.2	20.5	17.7	15.6
ﾌﾚｰﾑ表面	22.2	20.0	16.3	12.4

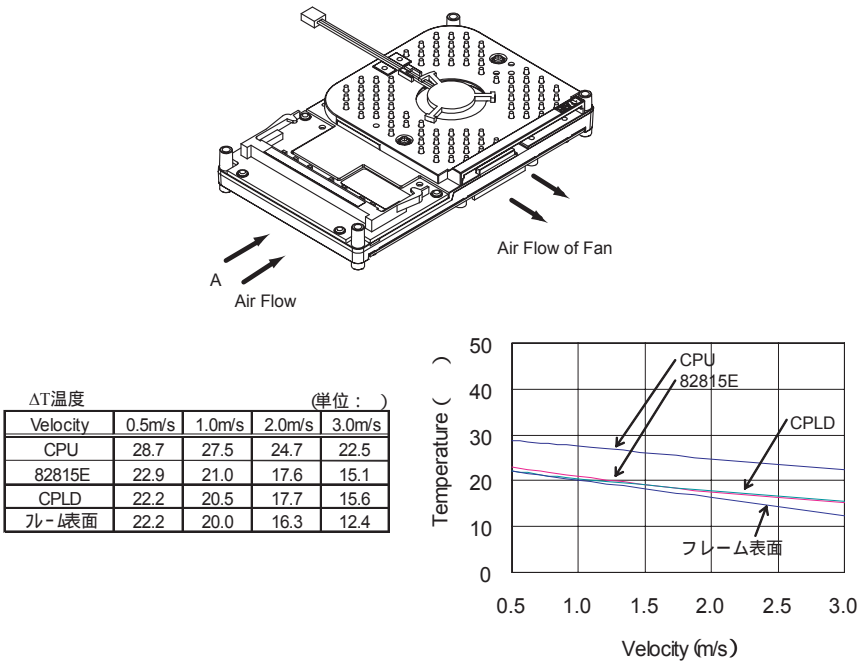



図 18 温度－風速（PD-222AQ0D1B）

PD-222AQ0D1B では、ファンモジュール以外の特別な対策を行わなくても 50° C の環境温度で動作温度を満足していることが分かります。

3.3 PD-222AP0D1B

図 19 に周囲からの風を遮断した状態における各素子の表面温度およびフレーム表面温度を示します。

ΔT温度　　　　　　　(単位：℃)

測定箇所	PD-222AP0D1B 400MHz
CPU	19.5
82815E	19.5
CPLD	20.6
フレーム表面	15.9

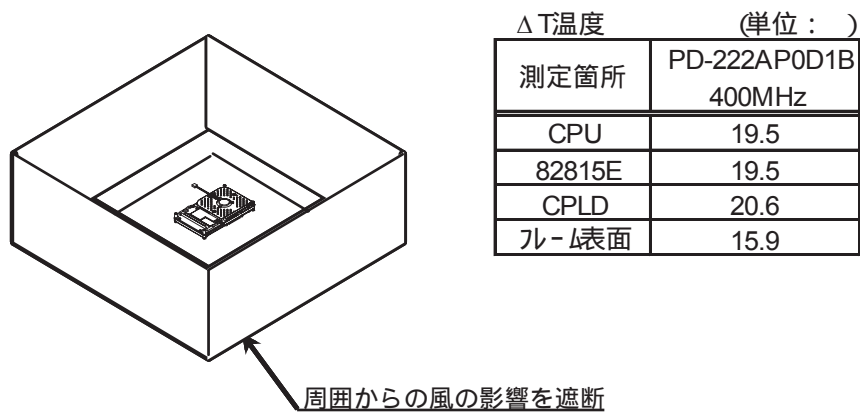



図 19　PD-222AP0D1B の熱特性

図 20 の A の方向から空気を流した状態におけるフレーム表面温度および各素子の表面温度を次に示します。

ΔT温度　　単位：℃）

Velocity	0.5m/s	1.0m/s	2.0m/s	3.0m/s
CPU	20.0	18.7	16.8	15.3
82815E	19.4	17.9	15.5	13.0
CPLD	21.4	20.2	18.4	16.3
ﾌﾚｰﾑ表面	17.7	14.9	13.1	11.6

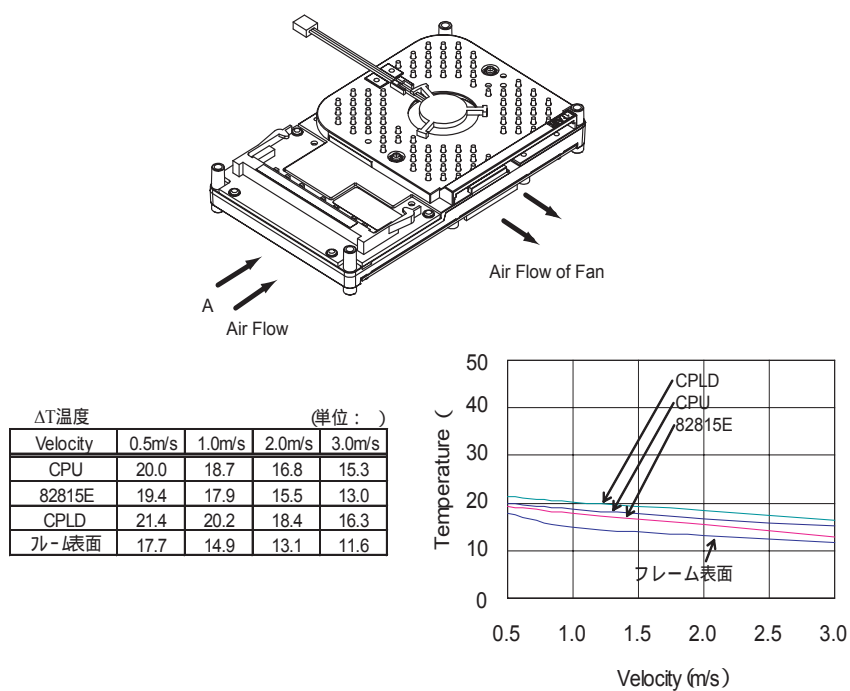



図 20　温度－風速（PD-222AP0D1B）

PD-222AP0D1B では、ファンモジュール以外の特別な対策を行わなくても 50° C の環境温度で動作温度を満足していることが分かります。

3.4 PD-222AP0D1C

図 21 に周囲からの風を遮断した状態における各素子の表面温度およびフレーム表面温度を示します。

ΔT温度　　　　　　(単位 :℃)

測定箇所	PD-222AP0D1C 400MHz
CPU	44.8
82815E	42.0
CPLD	42.9
フレーム表面	39.1

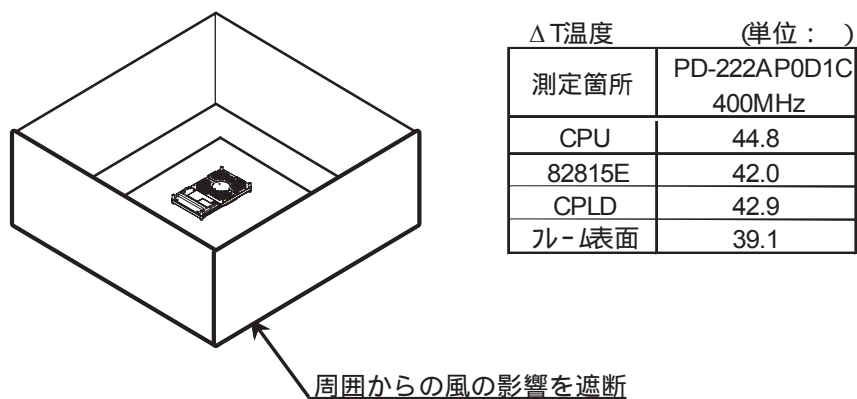



図 21　PD-222AP0D1C の熱特性

図 22 の A の方向から空気を流した状態におけるフレーム表面温度および各素子の表面温度を次に示します。

ΔT温度　　単位 :℃)

Velocity	0.5m/s	1.0m/s	2.0m/s	3.0m/s
CPU	40.1	29.3	22.7	18.7
82815E	37.1	26.9	20.2	16.1
CPLD	39.6	29.8	23.5	19.6
ﾌﾚｰﾑ表面	35.1	25.5	18.8	14.4

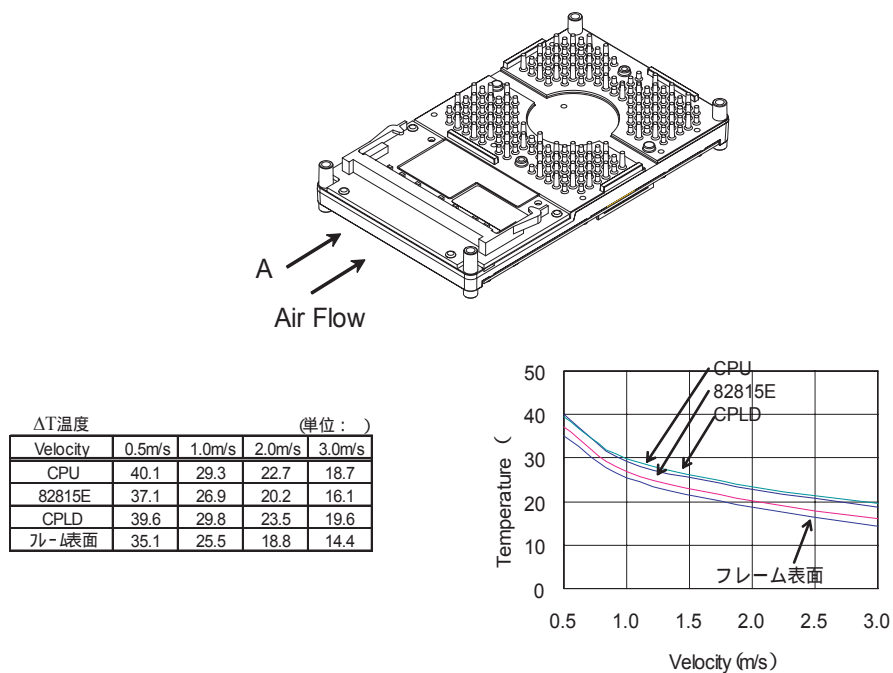



図 22 温度－風速（PD-222AP0D1C）

PD-222AP0D1C では、ファンモジュール以外の特別な対策を行わなくても 50° C の環境温度で動作温度を満足していることが分かります。

3.5 風洞装置

ここで測定した温度データの測定条件は、図 23 に示す風洞装置に試験基板に搭載したシステム オン モジュールを入れて測定しています。なお、風洞内で使用した試験基板は、風を流さない状態の温度測定で使用した基板（380mm × 310mm）と違い、178mm × 114mm のサイズの基板を使用していますが、温度データはほとんど変わりません。

外　形　寸　法：W3310mm × D1120mm × H1600mm（台部含む）
測定可能風速範囲：0〜15m/s
風速分布の乱れ率：1.39%（1.52m/s時）
0.59%（4.42m/s時）
0.32%（10.1m/s時）
使　用　風　速　計：Cambridge AccuSense,Inc.製 ATM-24

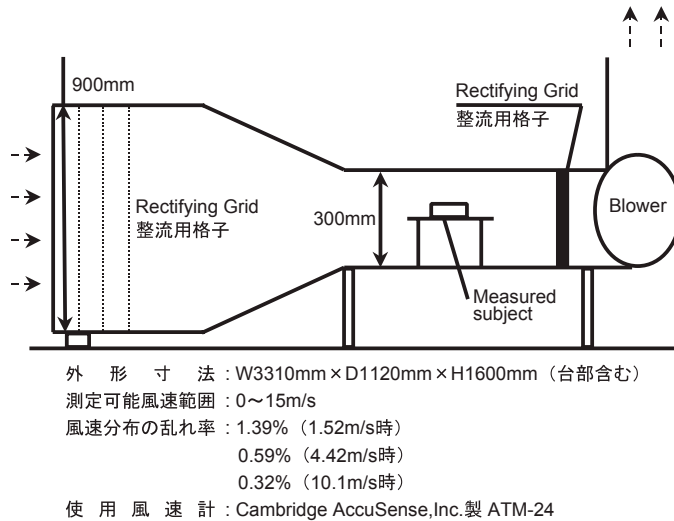



図 23 風洞装置の概要

第 4 章　熱設計手法

ここでは、熱設計の手法について説明します。

4.1　PD-222AV0D1B / PD-222AQ0D1B / PD-222AP0D1B

（1）　ファンモジュールの特徴

以下にファンモジュールの特徴を示します。

- 斜流型の羽根を採用し、遠心型の羽根と比べて風量を 2 倍にアップしていますが、騒音は遠心型の羽根と同等レベルに抑えられています。
- ファンは、高寿命のボールベアリングを使用しています。
- 薄型ですが軸受部にはシステム オン モジュールからの熱を直接受けない構造を採用しています。
- Air Flow は上面ファン部より吸い込み、横 1 方向へ吐き出しています。

図 24　放熱構造と外観

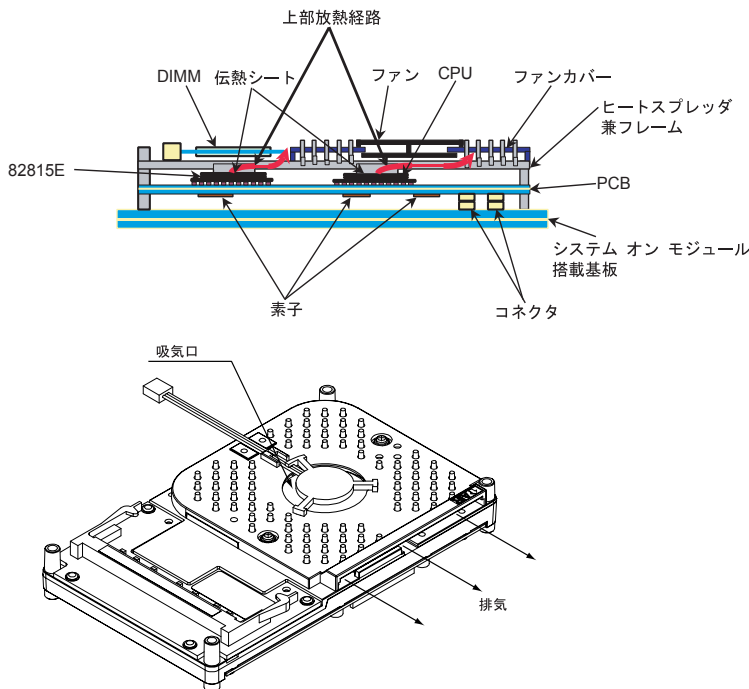
4
熱設計手法

（2） ファンモジュールの仕様

表 2 に、ファンモジュールの仕様を示します。

表 2 ファンモジュールの仕様

項目	ファンモジュールの仕様
定格電圧	DC+5V
使用電圧範囲	DC+4.5 ～ 5.5V
定格電流	0.15A（Typ）、0.18A（Max）
起動電流	0.26A 以下（DC5V 時）
起動時間	7Sec 以内（DC5V 時）
回転数	5,200min^{-1}（Min）、6,400min^{-1}（Typ）、7,800min^{-1}（Max）
騒音	32dB（A）（at1m）以下（DC5V 時）
パルス	1 回転 2 パルス
羽根形状	斜流型羽根
期待寿命	50,000 時間 （残存率 90%、DC5V 稼働時、周囲温度平均 50°C）
リード線長さ	250±20mm（標準）、AWG#28
コネクタ仕様	ハウジング：モレックス 51021-0300 コンタクト：モレックス 50079-8000 または 50079-8100
相手側 コネクタ仕様	モレックス： 53047-0310（ストレート、DIP タイプ） 53048-0310（ライトアングル、DIP タイプ） 53261-0390（ストレート、SMD タイプ） 53398-0390（ライトアングル、SMD タイプ）
ピン対応	1P：DC+5V（赤）、2P：回転パルス（黄）、3P：GND（黒）

回転パルスについては、『ハードウェア解説書 3』の「4.15 回転パルス」を参照してください。

4.2 PD2200 シリーズ全般

（1） 補助的放熱方法

PD2200 シリーズの放熱方法を補助する必要がある場合は、軸流ファンの使用を推奨します。軸流ファンは、大きさが 25mm 角サイズのものから φ172mm のものまで多岐にわたって標準的に市場に出回っています。軸流ファンを製造しているメーカも数多くあり、コストパフォーマンスにも優れています。

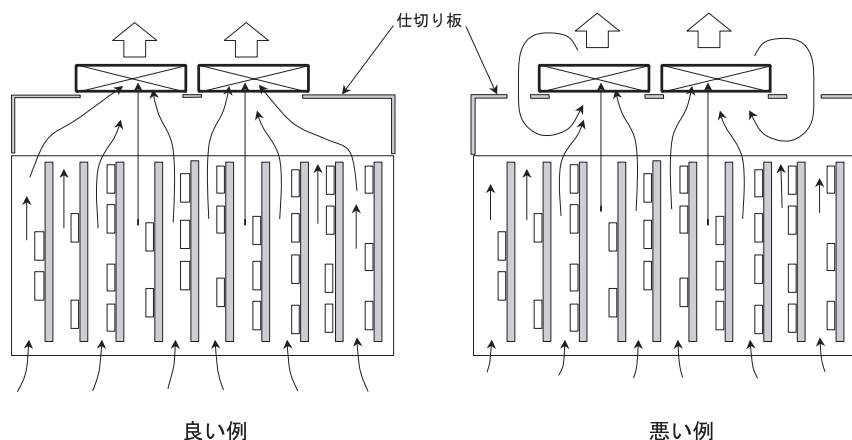
以下に、軸流ファン（以下ファンと表記）を使用する場合の留意点をまとめます。

1 暖気の排気用途にファンを用いる場合、排気の回り込みと排気スリットの開口面積にご注意ください。排気スリットの開口面積は、システム全体の圧力損失に大きく影響を与えるため、ファンサイズ面積に対して 50% 以上開けることをお薦めします。

2 筐体へのファンの取り付け方が適切でない場合、またはファンの排気が正しく筐体外に排出されない場合、予期したほどの冷却効果が得られません。
例えば、ファンの前後では圧力差が大きいため、吐き出し側と吸い込み側とをしっかり仕切る必要があります（図 25 参照）。
なお、PD-222AV0D1B や PD-222AQ0D1B および PD-222AP0D1B を筐体に実装する場合は、筐体の風の流れとファンの排気方向を同じ方向にする必要があります。ファンの排気方向を逆方向にすると、冷却効果が悪くなります。

図 25 ファン近くでの漏れ

4

熱設計手法

3 ファンの吸い込み側近くに、大きな部品は置かないでください。
図 26 に、壁面に面したときの風量低下のグラフを示します。
吸い込み側近くに障害物があるとファンの風量－静圧特性が変わり、風量低下が増大します。

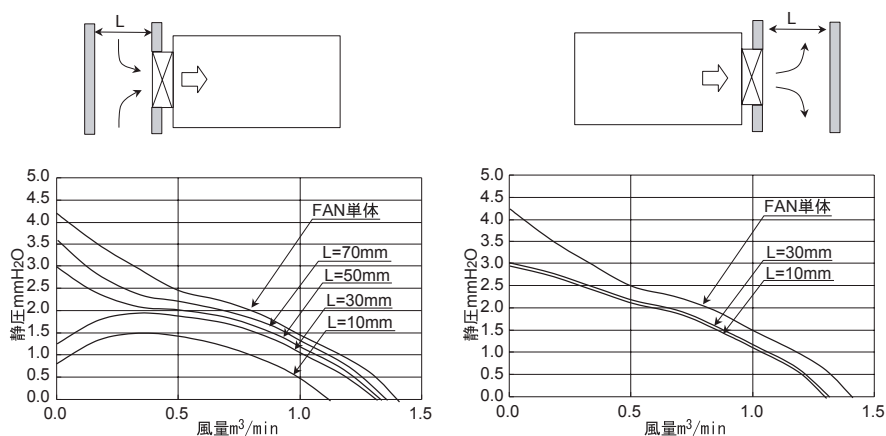



図 26 障害物による風量－静圧の低下

4 軸受にボールベアリングを採用している 40mm 角サイズ以下のファンの多くは、60mm 角サイズ以上のものと比較すると、ボールベアリングのサイズが小さいものを使用し、回転数も高いため耐衝撃性や寿命の点から見て不利になっています。
また、同じベアリング、グリースを使ってもベアリングハウス内の加工精度、シャフトの傾き、与圧のかけ方などによって寿命が異なるため留意してください。

5 ベアリングは、大きく分けてスリーブベアリングとボールベアリングの 2 つに大別されます。表 3 に、その軸受特性を示します。

表 3 ベアリングの軸受特性

種類 / 特性	耐衝撃性	軸受温度特性	価格	寿命
ボールベアリング	△	○	△	○
スリーブベアリング	○	△	○	△

上表より、頑丈な PC など耐久性（例えば温度や衝撃）の求められる用途で使用する場合は、相反する事項があるため慎重な選定が必要です。
当社では、ファンモータの採用に当たって、電気的（起動電流、定常電流、電流波形等）特性、機械的（耐振動、耐衝撃等）特性、風量－静圧特性、騒音特性だけでなく信頼性試験（寿命試験含む）を実施し、長期に渡って信頼性が確保できるファンおよびメーカを厳しく選定しています。
当社で推奨するメーカは以下の 6 社です。

- 山洋電気株式会社
- 株式会社日本計器製作所
- 株式会社メルコテクノレックス
- 松下電器産業株式会社
- 日本サーボ株式会社
- 日本電産株式会社

6 ファン相似則の活用
ファンの選択に際し、ファンの相似則を利用し、ファンの風量、静圧、騒音、電力の諸元を変化させたときの性能を以下の式により推定できます。
ファンを装置に組み込んで試験した結果、温度、騒音に問題が生じた場合、この式を活用してください。

風量 $V2 = (D2/D1)^3 \times (N2/N1) \times V1$

静圧 $P2 = (D2/D1)^2 \times (N2/N1)^2 \times P1$

騒音 $dB2 = dB1 + 70 \log (D2/D1) + 50 \log (N2/N1)$

電力 $W2 = (D2/D1)^5 \times (N2/N1)^3 \times W1$

なお、D：ファン直径、N：回転数、P：静圧、dB：騒音、W：電力です。

4

熱設計手法

（2） 熱解析技術

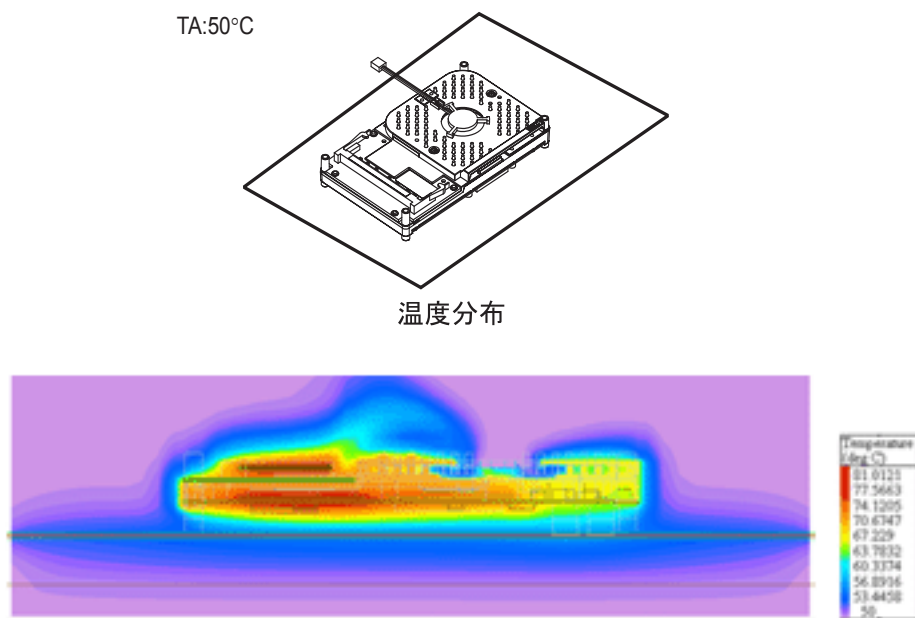
設計者の勘や経験に基づいて試作－実測－対策（このサイクルを繰り返す）するというカットアンドトライ型の開発では、開発サイクルに追従できないことや試作評価費用も膨大になることから、当社では、開発製品への熱解析を行っています。

現在、解析精度は 10% 以下まで向上しており、試作レスと開発リードタイムの短縮に大きく貢献しています。システム オン モジュールやこれまで記述してきた PD2200 シリーズのファンモジュールの開発に際しても、熱解析によってあらかじめ確認し、それぞれの部品が耐熱温度以下になるように見通しをつけてから試作を行い、手戻りを最小限にしています。

図 27 に、システム オン モジュール単体の解析事例を示します。

なお、図中に記載している解析誤差は、以下の計算式で求めています。

$$\frac{\text{解析結果}-\text{実験結果}}{\text{実験値（}\Delta T\text{）}} \times 100\text{（\%）}$$

温度分布

解析温度　（単位：℃）

	実験結果	解析結果	温度差	解析誤差 %
CPU	**81.1**	**79.9**	**-1.2**	**3.9%**
82815E	**75.5**	**77.2**	**1.7**	**6.7%**
フレーム表面	**71.8**	**73.8**	**2.0**	**9.2%**

図 27 解析モデル（PD-222AQ0D1B 単体）

図 27 は PD-222AQ0D1B の例ですが、PD-222AV0D1B および PD-222AP0D1B の場合も同様の解析精度が得られます。

当社の熱シュミレーション技術の詳細は、以下に掲載しています。

1 PFU Tech Rev.14.pp85-92（1997）

2 The International Journal of Microcircuits & Electronic Packaging Third Quarter 1997, Volume 20, Number 3, pp274-281

4.3 ベンダーリスト

以下に、カプトンテープ、セメント、接着剤、シリコングリース、ファン、熱電対のベンダーリストを掲載します。

カプトンテープ

メーカ名	日東電工株式会社
住所	〒 567-8680 大阪府茨木市下穂積 1 丁目 1 番 2 号
電話番号	（0726）- 22 - 2981
FAX 番号	（0726）- 26 - 1505
URL	http://www.nitto.co.jp/

メーカ名	住友スリーエム株式会社 3M 製品総合案内
住所	〒 158-8583 東京都世田谷区玉川台 2 丁目 33 番 1 号
電話番号	（03）- 3709 - 8165
FAX 番号	（03）- 3709 - 9588
URL	http://www.mmm.co.jp/

セメント

メーカ名	イシモトインターナショナル株式会社
住所	〒 165-0027 東京都中野区野方 6-52-1
電話番号	（03）- 5373 - 4008
FAX 番号	（03）- 5373 - 4010

接着剤

メーカ名	株式会社アイテック（代理店）
住所	〒 220-0072
	神奈川県横浜市西区浅間町 3 丁目 165 番地 12
電話番号	（045）- 322 - 1009
FAX 番号	（045）- 322 - 1089

シリコングリース

メーカ名	信越化学工業株式会社
住所	〒 100-0004
	東京都千代田区大手町 2-6-1 朝日東海ビル
電話番号	（03）- 3246 - 5152
FAX 番号	（03）- 3246 - 5362
URL	http://www.shinetsu.co.jp/j/index.shtml

ファン

メーカ名	山洋電気株式会社
住所	〒 170-8451
	東京都豊島区北大塚 1-15-1
電話番号	（03）- 3917 - 5151
FAX 番号	（03）- 3917 - 5415
URL	http://www.sanyodenki.co.jp/

メーカ名	株式会社メルコテクノレックス
住所	〒 101-0004
	東京都中央区東日本橋 1-4-13（MARUSIN ビル 6F）
電話番号	（03）- 3865 - 6911
FAX 番号	（03）- 3865 - 6566
URL	http://www.mtr.co.jp/

メーカ名	株式会社日本計器製作所
住所	〒 146-0084
	東京都大田区南久が原 1 丁目 13 番 6 号
電話番号	（03）- 3750 - 2231
FAX 番号	（03）- 3750 - 2271
URL	http://www.nipponkeiki.co.jp/

メーカ名　日本サーボ株式会社
住所　〒 101-0053
東京都千代田区神田美土代町 7
電話番号　（03）- 3293 - 7619
FAX 番号　（03）- 3292 - 8705
URL　http://www.japanservo.co.jp/

メーカ名　松下電器産業株式会社
住所　〒 140-8587
東京都品川区東品川 4-12-4
電話番号　（03）- 6710 - 3193
URL　http://industrial.panasonic.com/jp/products/motor_compressor/motor_compressor.html

メーカ名　日本電産株式会社
住所　〒 141-0032
東京都品川区大崎 1 丁目 20-13（日本電産東京ビル 5F）
電話番号　（03）- 3494 - 0881
FAX 番号　（03）- 3494 - 0870
URL　http://www.nidec.co.jp/

熱電対

メーカ名　林電工株式会社
住所　〒 113-0021
東京都文京区本駒込６丁目５番５号
電話番号　（03）- 3945 - 3151
FAX 番号　（03）- 3945 - 3130
URL　http://www.hayashidenko.co.jp/

索引

あ行

か行

さ行

た行

な行

は行

P

太枠内をご記入の上、貴社担当の営業までご送付願います。

Q&A シート

年　月　日

1．お客様情報

貴 社 名	
貴 部 署	
ご担当者名	
ご連絡先	電話番号：　　　　　ＦＡＸ：

2．お客様のシステムの機器構成

ハードウェア　　該当する項目の□欄をチェックしてください。

本体型名	□ PD-222AV □ PD-222AQ □ PD-222AP□ その他（　　　）
増設メモリ	ＭＢ　□ PFU 製品 型格（　　　） □ 他社製品 社名（　　　）　型格（　　　）
周辺機器 （ＰＦＵ 製品）	□ 評価ボード G2　(PD-2283AYS) □ その他（　　　）
周辺機器 （他社製品）	□ 液晶パネル（　　　） □ その他（　　　）

BIOS

BIOS 版数　（注 1）	

（注 1）システム起動時に表示される "BIOS Revision" の右に表示される版数
（例、PM:5.01）を記入してください。

オペレーティングシステム　　該当する項目の□欄をチェックしてください。

OS	□ Windows® XP Professional（Version　　Service Pack #　　） □ Windows® 2000 Professional（Version　　Service Pack #　　） □ Windows® 98 Second Edition □ その他（　　　）
言語	□ 日本語　□ 英語　□ その他（　　　）

担当営業記入欄

担当営業	所属				氏名	
	電話		FAX		受付日	年　月　日

３．お問い合わせ内容

- 障害の場合には、(1) 概要、(2) 発生条件、(3) 再現方法、(4) 発生頻度を必ずご記入ください。
- 必要に応じて資料を添付してください。☐ 添付資料あり　　☐ 添付資料なし

当社使用欄　　　　この欄には記入しないでください。

受付者		回答者		回答日	年　月　日
備考					